Travaux Pratiques de Physique

Lycée Charlemagne Paris

MP

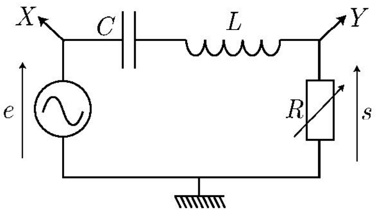
2 heures
Calculatrices autorisées

Régime sinusoïdal forcé

Objectif
L'objectif de ce TP est l'étude des circuits électroniques en régime sinusoïdal forcé, avec existence ou non d'un phénomène de résonance.

I- Résonance en intensité

On réalisera le montage suivant :



dans lequel :
- le GBF délivre une tension sinusoïdale d'amplitude $E_0 = 3$ V et de fréquence f variable, à laquelle est associée une pulsation $\omega = 2\pi f$;
- le condensateur (boîte de capacités à décades) présente une capacité $C = 100$ nF ;
- la résistance (boîte de résistances à décades) possède une résistance $R = 100\ \Omega$;
- la bobine présente une auto-inductance $L = 100$ mH ;
- les tensions $e(t) = E_0\ \cos(\omega t)$ et $s(t) = S_0\ \cos(\omega t + \phi)$ sont recueillies aux entrées X et Y d'un oscilloscope numérique et à un ordinateur permettant l'impression des courbes.

1. Fonction de transfert

a- Approche théorique

Le montage proposé permet l'étude de la résonance en intensité, car la tension s observée à l'écran est l'image de $i = \dfrac{s}{R}$.
L'ensemble des dipôles et fils électriques autres que R présentent une résistance totale r, qui n'apparaît pas dans le montage précédent.

Question
Quelles expressions doit-on attribuer aux paramètres constants H_0, ω_0 et Q pour présenter la fonction de transfert sous la forme suivante :

$$\underline{H}(\mathrm{j}\omega) = \frac{H_0}{1 + \mathrm{j}Q\left(\dfrac{\omega}{\omega_0} - \dfrac{\omega_0}{\omega}\right)} \tag{1}$$

$H(\omega) = \dfrac{S_0}{E_0}$ devient maximum pour $\omega = \omega_{\max}$ et prend une valeur $H_{\max}$.

Question
Donner l'expression de $\omega_{\max}$ ainsi que sa valeur numérique.

La courbe de Lissajous permet de représenter Y en fonction de X.

Question
Quelle est l'allure générale de la courbe de Lissajous pour des valeurs quelconques de ω ? et pour $\omega = \omega_{\max}$?

b- Tracé expérimental

En faisant varier la fréquence f, remplir le tableau suivant.
Attention : l'amplitude E_0 (normalement fixée à 3 V) peut évoluer au cours de l'expérience, ce qui rend sa mesure nécessaire à chaque valeur de f.

f	50 Hz	100 Hz	200 Hz	400 Hz	600 Hz	800 Hz	1 000 Hz	1 200 Hz
ω (rad.s^{-1})								
H								

f	1 300 Hz	1 400 Hz	1 500 Hz	1 600 Hz	1 700 Hz	1 800 Hz	2 000 Hz	2 500 Hz
ω (rad.s^{-1})								
H								

Représenter graphiquement la courbe $H(\omega)$.

Question
Déduire de cette courbe une estimation de $\omega_{\max}$ et H_0, en justifiant les calculs.

Observer la courbe de Lissajous (XY) et remarquer ses variations consécutives aux modifications de ω.

Question
En utilisant le mode XY, donner une nouvelle estimation de $\omega_{\max}$ et comparer avec la valeur obtenue précédemment.

Question
À l'aide de la courbe précédente, donner une estimation de r, en justifiant les calculs.

2.Facteur de qualité et bande passante

a- Approche théorique

On appelle *facteur de qualité* le coefficient Q introduit dans l'expression (1) et *bande passante* l'intervalle $[\omega_1 ; \omega_2]$ qui sépare les *pulsations de coupure* ω_i telles que :

$$\forall \omega \in [\omega_1 ; \omega_2] \, , \, H(\omega) \geqslant \frac{H_{\max}}{\sqrt{2}}$$

Question
Montrer que la *largeur de la bande passante* vaut :

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_{\max}}{Q} \tag{2}$$

et en déduire que $R + r = L \times \Delta\omega$.

La valeur de la résistance R détermine alors la forme de la courbe représentative de $H(\omega)$.

Question
Quelle est l'influence d'une augmentation de R sur l'allure de cette courbe ?

b- Résultats expérimentaux

Repérer sur la courbe expérimentale tracée précédemment les pulsations de coupure.

Question

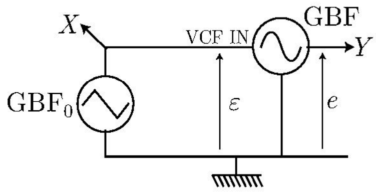
Donner les valeurs de ω_1 et ω_2, en déduire celles de Q, de $\Delta\omega$ et de r ; on fournira le détail des calculs et valeurs numériques.
Comparer avec la valeur issue de la relation (2).

3. La fonction vobulation

L'influence de R sur l'allure de la courbe représentative de $H(\omega)$ est directement observable à condition de pouvoir représenter à l'écran de l'oscilloscope la courbe $H(\omega)$; c'est l'objet de cette partie.
La fréquence f du signal délivré par le GBF utilisé dans le montage précédent peut être modifiée manuellement (c'est ce qui a été réalisé jusqu'à présent) ou électriquement. Pour cela, une liaison OCT[1] (ou VCF) est prévue sur la plupart des appareils.
Un second GBF (dorénavant appelé GBF_0) envoie alors une tension en «dents de scie», d'amplitude $\mathcal{E}_0$ et de fréquence f_0, ce qui a pour effet de faire varier la fréquence du premier GBF autour de la valeur f qui apparaît en l'absence de vobulation.

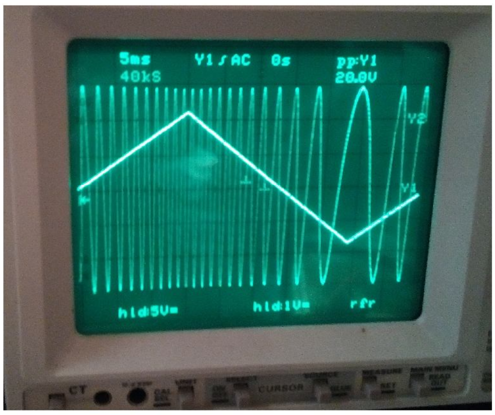
$\boxed{\mathrm{GBF}_0\,(f_0)} \longrightarrow \boxed{\mathrm{GBF}\,(f)} \longrightarrow$ vobulation autour de f

Réaliser le montage suivant :



dans lequel :

- GBF_0 est un générateur de fonctions qui produit une tension $\varepsilon(t)$ en «dents de scie» de fréquence $f_0 = 20$ Hz et d'amplitude 5 V. On pourra modifier cette amplitude[2] et observer les conséquences ;
- GBF désigne un autre générateur de fonctions qui délivre, en l'absence de vobulation (on éteindra GBF_0 pour effectuer ces réglages) une tension sinusoïdale de fréquence f comprise entre 500 Hz et 1 000 Hz, d'amplitude 3 V ;
- un oscilloscope numérique permet de visualiser les tensions $\varepsilon(t)$ et $e(t)$ reçues aux entrées X et Y ;
- un ordinateur, connecté à une imprimante et une interface Sysam, permettra d'imprimer éventuellement des courbes.

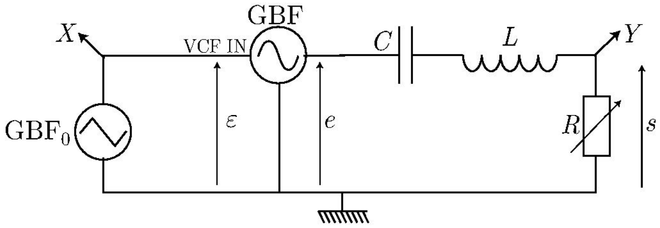


Appeler le professeur

Recueillir ces courbes, les présenter et les interpréter.

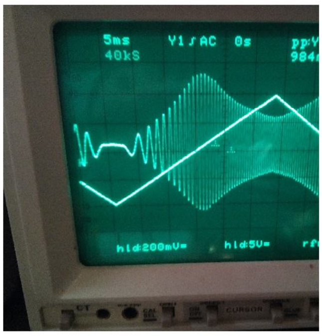
Réaliser ensuite le montage schématisé ci-dessous :

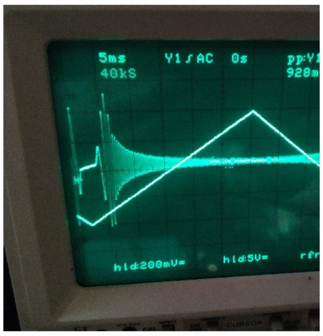
1. Oscillateur Commandé par une Tension
2. Plus l'amplitude de ε est grande, plus l'excursion autour de f est grande.



dans lequel :
- GBF_0 est un générateur de fonctions qui délivre une tension $\varepsilon(t)$ en «dents de scie», d'amplitude $\mathcal{E}_0$ la plus grande possible et de fréquence $f_0 = 20$ Hz ;
- GBF est un générateur de fonctions qui procure, en l'absence de vobulation, une tension $e(t)$ sinusoïdale d'amplitude $E_0 = 3$ V et de fréquence voisine de 1 kHz (cette fréquence pourra être modifiée afin d'améliorer les observations) ;
- une boîte de capacités à décades présente une capacité $C = 100$ nF ;
- l'auto-inductance de la bobine vaut $L = 100$ mH ;
- une boîte de résistances à décades fournit une résistance $R = 100\ \Omega$;
- un oscilloscope numérique recueille les tensions $\varepsilon(t)$ et $s(t)$ sur ses entrées respectives X et Y ;
- un ordinateur, équipé de Latis Pro et connecté à une imprimante, permettra l'impression éventuelle des courbes expérimentales.

Obtenir à l'écran de l'oscilloscope un signal qui présente l'allure suivante[3] (les oscillogrammes présentés ci-dessous ont été obtenus avec deux valeurs différentes de $\mathcal{E}_0$).





Imprimer ces courbes et les fournir avec le compte-rendu.

Question

Interpréter l'allure des courbes obtenues.

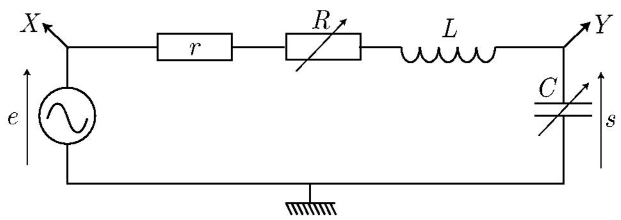
Donner à R la valeur 200 Ω.

Question

Quelle(s) modification(s) a subi la courbe de résonance affichée à l'écran de l'oscilloscope ? Comparer avec les prévisions théoriques.

II- Résonance en tension

Si l'on tient compte de la résistance r des dipôles, le montage permettant l'étude de la résonance en tension est schématisé comme suit :



Réaliser le montage, dans lequel :
- un GBF délivre une tension sinusoïdale $e(t)$ de fréquence f et d'amplitude $E_0 = 3$ V ;

3. On pourra utiliser la fonction de mémorisation de l'oscilloscope pour stabiliser les courbes.

- une boîte de résistances à décades prend la valeur $R = 0\ \Omega$;
- la résistance r, désignant l'ensemble des résistances du circuit autres que R, est supposée prendre la même valeur numérique que celle évaluée à la question I-2.b ;
- une bobine présente une auto-inductance $L = 100$ mH ;
- la capacité $C = 100$ nF est réalisée à l'aide d'une boîte de condensateurs à décades ;
- un oscilloscope numérique recueille les tensions $e(t)$ et $s(t)$;
- un ordinateur, équipé de Latis Pro et connecté à une imprimante, permettra éventuellement d'imprimer les courbes visualisées.

1. Fonction de transfert

a- Approche théorique

Les tensions $e(t)$ et $s(t)$ sont de la forme : $e(t) = E_0\ \cos(\omega t)$ et $s(t) = S_0\ \cos(\omega t - \phi)$.

Question

Trouver les expressions de ω_0 et Q_1 qui permettent de poser :

$$H(\omega) = \frac{S_0}{E_0} = \frac{1}{\sqrt{(1-x^2)^2 + \dfrac{x^2}{Q_1^2}}} \text{ avec } x = \frac{\omega}{\omega_0} \text{ et } \tan\phi = \frac{x}{Q_1\,(1-x^2)}$$

Ces expressions montrent qu'il peut exister un phénomène de résonance à une pulsation :

$$\omega_r = \omega_0\sqrt{1 - \frac{1}{2Q_1^2}}$$

Question

Établir qu'il existe une valeur maximale $R_{\max}$ de R au delà de laquelle la résonance disparaît :

$$R_{\max} = \frac{L\omega_0}{\sqrt{2}} - r \qquad (3)$$

On appelle ici *diagramme de Bode en phase* la courbe représentative de ϕ en fonction de $\log x$.

Question

Tracer l'allure de ce diagramme (on aura intérêt à chercher au préalable les asymptotes de la courbe).

b. Tracé expérimental

Á l'aide du montage schématisé précédemment, remplir le tableau suivant.

Attention : la valeur de E_0 peut varier «toute seule» au cours de l'expérience

Il sera donc nécessaire de la mesurer à chaque évaluation de $H(\omega)$.

f	100 Hz	200 Hz	300 Hz	400 Hz	500 Hz	600 Hz	700 Hz	800 Hz	900 Hz
ω (rad.s^{-1})									
$H(\omega)$									

f (Hz)	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800
ω (rad.s^{-1})									
$H(\omega)$									

f (Hz)	1 900	2 000	2 100	2 200	2 300	2 400	2 500	2 600	2 800
ω (rad.s^{-1})									
$H(\omega)$									

Représenter la courbe de $H(\omega)$.

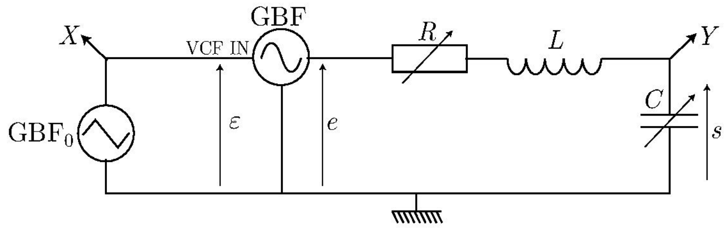
Question

1. Repérer sur cette courbe la valeur de la pulsation de résonance ω_r et calculer la valeur numérique de ω_0 imposée par les composants du montage.
2. Quelle est l'allure de la courbe de Lissajous lorsque $\omega = \omega_0$? interpréter.
3. Rappeler la valeur de r obtenue expérimentalement et en déduire celle de $R_{\max}$ attendue théoriquement.

---

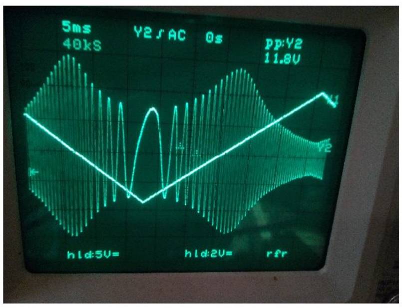
c- Influence du facteur de qualité

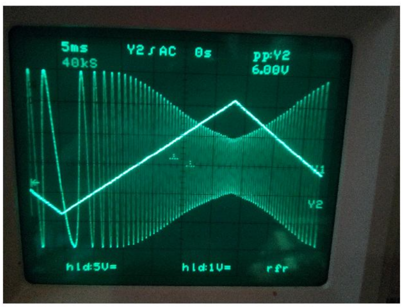
Réaliser le montage schématisé ci-dessous :

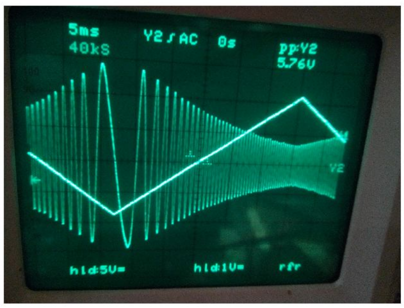


dans lequel :
- GBF$_0$ est un générateur de fonction qui déivre une tension en «dents de scie» d'amplitude maximale et de fréquence $f_0 = 20$ Hz ;
- GBF est un générateur de fonctions vobulé par GBF$_0$. En l'absence de vobulation, ce générateur délivre une tension sinusoïdale de fréquence $f = 1$ kHz et d'amplitude 3 V ;
- une boîte de résistances à décades prend initialement la valeur $R = 0\ \Omega$;
- une boîte de capacités à décades prend la valeur $C = 100$ nF ;
- la bobine possède une inductance $L = 100$ mH ;
- un oscilloscope numérique reçoit les tensions $\varepsilon(t)$ et $s(t)$ sur ses entrées respectives X et Y ;
- un ordinateur équipé de Latis Pro permet l'impression des courbes $\varepsilon(t)$ et $s(t)$.

En modifiant les différents réglages des GBF, on peut observer un phénomène de résonance (ou sa disparition). Par exemple, les courbes ci-dessous ont été obtenues en choisissant pour R les valeurs 0 Ω, 800 Ω et 1 800 Ω.







Réaliser des courbes similaires et imprimer celle obtenue pour $R = 0\ \Omega$.

Question

1. Augmenter R et commenter les observations.
2. Imprimer la courbe obtenue avec $R_{\max}$; on donnera la valeur de $R_{\max}$ ainsi évaluée.
3. Cette valeur de $R_{\max}$ est-elle compatible avec celle de r ?

Matériel disponible

PAILLASSES ÉLÈVES
– 1 oscilloscope numérique ;
– 1 interface Sysam + Latis Pro + ordinateur connecté à une imprimante ;
– 1 boîte de résistances à décades ;
– 1 boîte de capacités à décades (ou un condensateur de capacité 100 nF) ;
– 1 bobine de 100 mH ;
– 1 GBF
– 1 deuxième GBF avec entrée VCF ;
– 1 voltmètre numérique.

PAILLASSE GÉNÉRALE
– Papier millimétré cartésien, semi-log, log-log.